

**PRODUKTION AV ^{24}Na I KÄRNOR
BESTRÅLADE MED HÖGENERGETISKA
FOTONER**

Anders Järund



Lund 1976

PRODUKTION AV ^{24}Na I KÄRNOR BESTRÅLADE MED

HÖGENERGETISKA FOTONER

av

Anders Järund

fil.mag.Gb

Avhandling för doktorsexamen

vid Lunds Universitets matematisk-naturvetenskapliga fakultet.



Avhandlingen kommer att offentligt försvaras i

Fysiska institutionens föreläsningssal B,

fredagen den 10 december 1976, klockan 10.15.

REPRODUCTION OF THE 1770-1775 EDITION

BY THE UNIVERSITY OF LEIDEN

Anders J. J. van
der
Lip

Journal of the Corporation

the same University of Leiden, and the University of Leiden



Acquisition of the University of Leiden, 1770-1775

Leiden University, Leiden, 1770-1775

Leiden University, Leiden, 1770-1775

PRODUKTION AV ^{24}Na I KÄRNOR BESTRÅLADE MED HÖGENERGETISKA FOTONER

Föreliggande avhandling omfattar följande arbeten:

- I. PHOTOPRODUCTION OF ^{24}Na FROM NUCLEI WITH $13 \leq Z \leq 29$
tillsammans med B. Friberg och B. Forkman
Z. Phys. 262, (1973), 15
- II. ABSOLUTE YIELD MEASUREMENT OF THE REACTION $^{27}\text{Al}(\gamma, 2\text{pn})^{24}\text{Na}$
tillsammans med B. Johnsson och B. Forkman
Z, Phys. A273, (1975), 97 och
erratum: Z. Phys. A276, (1976), 410
- III. PHOTOPRODUCTION OF ^{24}Na FROM TARGETS WITH $63 \leq A_T \leq 238$
tillsammans med B. Forkman
Nuclear Physics Report, University of Lund, LUNP 7607
Codan: LUNFD6/(NFFR-3004)/1-24/(1976)
accepterad för publikation i Zeitschrift für Physik
- IV. RECOILENERGIES OF FRAGMENTS PHOTOPRODUCED IN Cu, Ag AND Au
tillsammans med B. Forkman
Nuclear Physics Report, University of Lund, LUNP 7608
Codan: LUNFD6/(NFFR-3001)/1-16/(1976)
accepterad för publikation i Zeitschrift für Physik.

Preliminära rapporter har givits vid:

1. The Gordon Research Conference on Photonuclear Reactions
Tilton, New Hampshire, USA, 1971
2. VIII European Conference on Physics and Chemistry of Complex
Nuclear Reactions
Frostavallen, Sweden 1975
3. The Gordon Research Conference on Photonuclear Reactions
Plymouth, New Hampshire, USA, 1976

Då en foton med hög energi (≥ 150 MeV) träffar en kärna reagerar fotonen med en eller ett par nukleoner i kärnan. Detta beror på att de Broigle-våglängden för fotonen är kortare än medelavståndet mellan nukleonerna. De Broigle-våglängden för en foton med en energi större än 150 MeV är mindre än 1,3 fermi, medan nukleonernas medelavstånd är c:a 3 fermi. Absorbtionen av fotonens energi sker i huvudsak genom två processer: Kvasi-deuteron-växelvekan och pionproduktion. Vid kvasideuteron-växelvekan absorberar ett proton-neutronpar(kvasideuteron) fotonens energi, som förvandlas till kinetisk energi hos neutronen och protonen, medan vid pionproduktion exciteras en enskild nukleon till en isobar, som genast (10^{-24} s) sönderfaller till en pion och en stabil nukleon. Tvärsnittet för processerna är av samma storleksordning som för fria protoner och neutroner. Dessa är emellertid små (max 500 μb), vilket gör att fria medelvåglängden i kärnmateria blir längre än 200 fermi. Då diametern i en medeltung kärna är omkring 15 fermi, förstår man att kärnan nästan är genomskinlig för högenergetiska fotoner. De partiklar som deltar i den primära processen kan lämna kärnan utan ytterligare växelverkan, men kan också växelverka med andra nukleoner i kärnan. I Serbers modell (ref. 1) delas det fortsatta händelseförloppet upp i två steg. I det första steget "kaskadsteget" slungas några nukleoner och pioner ut huvudsakligen i framåtriktningen under en mycket kort tid (c:a 10^{-22} s). En del partiklar, som deltagit i reaktionen, får inte tillräcklig energi för att kunna lämna kärnan, och deras energi kommer att utgöra den återstående kärnans (kaskadkärnans)

excitationsenergi. Under det andra steget deexciteras kärnan, vilket försiggår under en tid av 10^{-20} till 10^{-16} sekunder. Kärnan kan deexciteras genom att partiklar förångas (kokas) av från kärnan (spallation) eller genom fission, då kärnan delas i en eller flera större delar, eller genom båda dessa processer. Om under kaskaden endast en mindre del av den genom foton tillförda energin lämnar kärnan med kaskadpartiklarna, blir kärnan högt exciterad, vilket gynnar sönderfall genom fission och så kallad djup spallation, där många partiklar förångas av. Slutprodukten blir då en kärna vars massa är mycket mindre än targetkärnans.

I detta arbete har produktionen av ^{24}Na från targetkärnor valda i hela massområdet med masstal från 27 till 238 studerats. Ju tyngre targetkärnor man väljer ju större excitationsenergi krävs för att producera ^{24}Na , och djup spallation och fission blir då de enda tänkbara produktionssätten. Målet för detta arbete har varit att undersöka i vilken utsträckning dessa reaktionsmekanismer är inblandade vid produktionen av ^{24}Na . Detta har undersökts på olika sätt. Från utbytet av ^{24}Na som funktion av bromsstrålningen maxenergi kan extrapoleras fram en minsta fotonenergi som krävs för att få ett mätbart bidrag till produktionen (arbete III). Denna fotonenergi bör motsvara det fall då obetydlig energi går förlorad i kaskaden och nästan all energi absorberas i kärnan, och bör därför ge ett ungefärligt mått på hur mycket excitationsenergi som krävs för att producera ^{24}Na . Från utbyteskurvorna kan också räknas fram medelvärden på tvärsnittet i energiområdet, och variationen av

medeltvärsnitten med targetkärnans massa kan ge upplysningar om vilka processer som är verksamma. Om spallation är den dominerande processen väntar man sig ett i huvudsak exponentiellt avtagande med ökande targetmassa, eftersom tidigare undersökningar visar att sannolikheten att producera en kärna av en viss massa avtager exponentiellt med ökande mass-skillnad mellan target och produkt. Det är däremot svårare att förutsäga hur fission påverkar medeltvärsnittets variation med targetmassan. Spallation och fission ger olika rekylenergier till produktkärnorna. Spallationsprocessen ger små rekylar till restkärnan för varje partikel som kokas av, och eftersom partiklarna lämnar kärnan i alla tänkbara riktningar, blir den slutliga impulsen mycket mindre än den som åstadkoms vid fission, där coulumbkrafterna tilldelar fragmenten hela impulsen på en gång och i en enda riktning. ^{24}Na -kärnans rekylenergi har beräknats från dess räckvidd i olika targetmaterial (arbete IV).

^{24}Na är en atomkärna som är särskilt lätt att detektera. Den har en halveringstid på 15 timmar, vilket gör det möjligt att vänta tills störande kortlivad aktivitet i proven har försvunnit, och att låta analyserna bli så långa att nästan allt ^{24}Na hinner sönderfalla. Det sista är mycket väsentligt då tvärsnittet för en del reaktioner är mycket små (c:a 1 μb). Vid sönderfallet utsänd två gammakvanta med energierna 1,37 och 2,75 MeV, och då ganska få radioaktiva kärnor ger gammakvanta med så hög energi, underlättas detekteringen betydligt.

Alla bestrålningar har gjorts med bromsstrålning från 1,2 GeV elektronsynkrotronen i Lund. Bromsstrålningen ger en kontinuerlig

fördelning av fotonenergier, vilket försvårar alla noggranna mätningar. I detta arbete förbättras situationen något av att de studerade reaktionerna har en hög energitröskel, och att därför fotoner med låg energi inte bidrar till utbytet.

I arbete I och III har utbytet av ^{24}Na mätts vid bestrålning med bromsstrålning med maxenergier från 100 till 1000 MeV. Targetkärnorna i arbete I har varit lätta (tyngst Cu), medan de i arbete III har varit betydligt tyngre än produktkärnan ^{24}Na . Från utbytet har medeltvärssnittet i energiområdet beräknats, och dess variation med targetkärnans massa har studerats. För lättare kärnor finner man ett exponentiellt avtagande med ökande massa, i överensstämmelse med vad man väntar sig då ^{24}Na produceras genom spallation, medan man för tyngre kärnor finner en svag ökning med ökande massa, vilket måste innebära att en annan process, vilken förmodligen är fission, dominerar vid produktionen.

Tvärssnittet för fotobestralning av fria protoner uppvisar en struktur med maximum för 300 MeV:s fotoner. För nukleonerna i kärnan jämnas denna struktur ut på grund av nukleonernas rörelser, så att tvärssnittet i stora drag blir konstant i energiområdet. Det samma gäller också för bestrålning med protoner. Efter kaskadsteget är excitationens energin jämnt fördelad över hela kärnan, och det andra steget blir oberoende av hur kaskadkärnan bildats. Produktionstvärssnitten för proton- och foton-inducerade reaktioner kommer därför i stort sett att förhålla sig som tvärssnitten för de primära processerna. En jämförelse mellan proton- och fotontvärssnitten för olika targetmassor

visar också att tvärsnittet endast skiljer sig med en konstant faktor.

I arbete IV har rekylenergierna för ^{24}Na producerat i koppar, silver och guld uppmätts. Targetfolier har varvats med uppfångningsfolier av mylar, och bestrålats vinkelrätt och parallellt med folieplanen. Foliernas tjocklek har varit större än räckvidden för ^{24}Na -kärnorna, vilket medför att mätningarna endast ger ett medelvärde av alla förekommande räckvidder. Medelräckvidderna har omvandlats till kinetiska energier med en energi-räckviddsrelation och sedan jämförts med teoretiskt beräknade energier för det fall då ^{24}Na skapats genom binär fission av targetkärnan. De teoretiska och experimentella värdena överensstämmer inom felgränserna. Räckvidden för en rad olika fragment producerade i koppar har också mätts. De tyngre fragmenten måste ha producerats genom spallationsprocesser medan de lättaste fragmenten kan ha producerats genom fission. Rekylenergierna för tyngre och lättare fragment har jämförts och diskuterats, och detta har lett till slutsatsen att en stor del av allt ^{24}Na har producerats genom fission.

I arbete II har en utbyteskurva för reaktionen $^{27}\text{Al}(\gamma, 2p)n)^{24}\text{Na}$ uppmätts med största möjliga noggrannhet. Denna reaktion har använts för att monitera utbytet av ^{24}Na i andra targets.

Jag vill rikta ett särskilt varmt tack till min handledare professor Bengt Forkman för det stora intresse han visat för mitt arbete och för de många givande diskussioner vi fört. Ett varmt tack riktas också till mina medarbetare Bengt Friberg och Bengt Johnsson för ett trevligt och givande samarbete. Slutligen vill jag tacka medlemmarna i Kärnfotogruppen för ett gott kamratskap och en stimulerande daglig samvaro.

Referens

1. R Serber, Phys. Rev., 72, (1947), 1114
sammanfattad i en artikel av J Hudis i "Nuclear Chemistry"
av L Yaffe.

Summary

In this thesis the photoproduction of ^{24}Na in different targets with massnumbers between 27 and 238 has been studied. The targets have been irradiated with bremsstrahlung with maximum energies from 100 to 1000 MeV. From the yield in the energy range the mean cross sections have been calculated, and the variation of them with the target mass has been studied. For lighter targets the mean cross section is exponentially decreasing with increasing target mass, in agreement with what is expected from ^{24}Na being produced through spallation processes, while for heavier targets it is slightly increasing, indicating fission to be the production mode.

The mean recoil energies of ^{24}Na nuclei produced in copper, silver and gold have also been measured. They are compared with theoretically calculated kinetic energies for the case that ^{24}Na is produced through binary fission of the target nucleus. The experimental and theoretical values agree within the errors.

